

Булгаков Б.М. Метод измерения эффективности возбуждения и вывода энергии в открытых резонаторах / Б.М. Булгаков, М.П. Натаров, В.Н. Скресанов // Приборы и техника эксперимента. – 1988. - № 4. –С. 118–120. 4. Yang Zhonghai. A method for measurement of Q-factor at millimeter wavelength / Zhonghai Yang, Chongwen Lin, Yingwei Zho // 10 International Conference "Infrared and Millimeter Waves": inter. conf., 9-13 December 1985: conf. proc. - Lake Buena Vista, Fla, 1985. – P. 350-351. 5. Техника субмиллиметровых волн / [Валитов Р.А., Дюбко С.Ф., Камышан В.В. и др.]; под ред. Р.А. Валитова. – М.: Сов. радио, 1969. – 480 с.

Поступила в редколлегию 11.05.2012

**УДК 004.051**

**А.Н. ЗЕЛЕНИН**, канд.техн.наук, проф., ХНУРЭ, Харьков,  
**В.А. ВЛАСОВА**, асп., ХНУРЭ, Харьков

## **ФАЗА ИНИЦИАЛИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ**

В статті розглянуто алгоритм ініціалізації в бездротових сенсорних мережах, який визначає продуктивність роботи мережі на етапі експлуатації. Проаналізовано алгоритм побудови маршруту з урахуванням аспектів ефективного позиціонування об'єктів мережі.

**Ключові слова:** ініціалізація, маршрутизація, позиціонування.

В статье рассмотрен алгоритм инициализации в беспроводных сенсорных сетях, который определяет продуктивность работы сети на этапе эксплуатации. Проанализирован алгоритм построения маршрута с учетом аспектов эффективного позиционирования объектов сети.

**Ключевые слова:** инициализация, маршрутизация, позиционирование.

Article discusses the algorithm is the initialization of wireless sensor networks, which determines the productivity of the network during operation. We analyze an algorithm for constructing a route taking into account aspects of the effective positioning of network objects.

**Keywords:** initialization, routing, positioning.

### **Введение**

Вопросам функционирования беспроводных сенсорных сетей (БСС) посвящено большое количество исследований и статей. Это обусловлено тем, что для эффективной работы БСС требуются оптимальные энергоэффективность, отказоустойчивость, своевременность доставки информации, обнаружение и исправление ошибок и т.п. Но функционирование сети не будет эффективным без правильного конфигурирования сети на начальном этапе работы – между размещением мотов (узлов БСС) и выполнением сетью своих непосредственных функций. Этот этап называется *инициализация*. Он чаще всего наиболее энергозатратен, продолжителен по времени, но и очень важен. Рассмотрим подробнее эту фазу работы БСС.

Инициализация – это процесс самоорганизации, конфигурирования, обмена/получения информации о положении узлов, о возможных маршрутах, о состоянии (работоспособности) узлов и большого количества другой служебной информации, которая определяет работоспособность и результативность работы сети.

Жизнь БСС как технической системы можно представить в виде S-образной прямой (рис. 1 а), которую предложил Альтшуллер [1]. На рис. 1 б схематически выделены характерные участки, которые определяют показатели системы.

Альтшуллер назвал их так [1]:

Участок 1 «детство» – техническая система развивается медленно.

Участок 2 «возмужание» – техническая система быстро совершенствуется, начинается массовое ее применение.

Участок 3 «старость» – темпы развития начинают падать.

При переходе через точку  $\gamma$  возможны 2 варианта: техническая система А деградирует, сменяясь принципиально новой системой Б либо на долгое время сохраняет достигнутые показатели.

Точки перегиба ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ) – это контрольные точки, в которых можно прогнозировать дальнейшее поведение системы.

Применительно к сенсорным сетям можно сказать, что пока они на 1-ом участке.

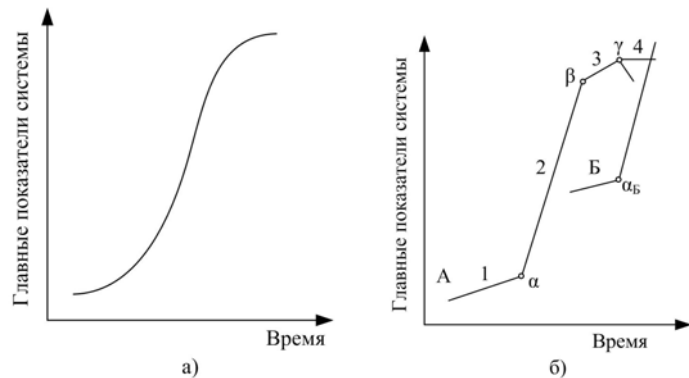


Рис. 1. Жизнь технической системы

Но данная зависимость рассматривалась нами как

характеристика жизни одной сети, а не технологии в целом. 1-ый участок – это размещение узлов (мотов), начало процесса инициализации (рассылка управляющих сигналов, выход из спящего режима, активизация);

2-ой – это непосредственно сам процесс самоорганизации сети (обмен информацией между соседними узлами, установление топологии, построение маршрутов, позиционирование, иногда первые измерения);

3-ий – завершение этапа инициализации (первая передача данных на сервер, определение работоспособного числа узлов, уточнение положения);

4-ый участок – непосредственно сама эксплуатация сети.

По характеру кривой логично сделать вывод, что чем выше поднимется участок 2, тем эффективнее будет работать система.

При поиске нами эффективного метода позиционирования в БСС были сформулированы требования, которые являются основными для систем позиционирования автономных полевых сетей:

1. Первичное определение координат объектов сети должно быть проведено уже на этапе развертывания (инициализации) сети.
2. Необходимость в оснащении доли объектов сети датчиками систем глобального позиционирования должна быть минимальной. В идеальном случае достаточно 3-4 таких объектов на сеть (для перевода координат в глобальную СК).
3. Преимущественное использование объектом сети данных, полученных в результате взаимодействия с базовыми станциями (БС), объектами, на которые не накладываются ограничения по энергопотреблению (для снижения нагрузки

на сеть и повышения ее энергоэффективности).

4. Определение и уточнение координат целесообразно производить одновременно в рамках совмещенного экспериментального и аналитического циклов, чтобы не увеличивать число транзакций между объектами сети, т. е. экономить энергоресурс мотов (сенсоров).

5. В полевой сети сенсоров необходимую плотность распределения объектов целесообразно обеспечивать только исходя из условий решения задачи связанности сети, а не из условий определения координат (которые являются более жесткими в том числе и по равномерности распределения сенсоров).

6. В процессе реализации задачи определения координат с требуемой точностью желательно использовать только те возможности, которые представлены открытыми стандартами, протоколами, спецификациями, приложениями и аппаратно-программными платформами.

Алгоритмы определения координат, которые удовлетворяют отмеченным критериям будут наиболее востребованы при разработке и создании реальных беспроводных полевых сенсорных сетей.

Но для построения маршрутов достаточно локальной информации о расстояниях между соседними узлами. Координаты узлов нужны скорее оператору системы контроля на этапе эксплуатации. Однако, данные о местоположении выгоднее получать (в смысле потребления энергии) на этапе инициализации, т.к. узлы на этом этапе массово обмениваются служебной информацией, в которую можно включить и информацию, необходимую для определения координат.

### **1. Алгоритм инициализации**

Этап инициализации призван решить эту проблему конфигурации в самоограничивающихся сетях на уровне простейшего диалога между узлами:

А: - Привет! Я Алекс. Меня кто-нибудь слышит?

Б: - Привет! Я Боб. Нахожусь в 1 км от ТВ вышки и в 500 м от почты.

А: (По громкости голоса я могу определить, что Боб находится от меня в 300 м) - Боб, я нахожусь в 1,5 км от ТВ вышки и 700 м от почты. Я буду передавать через тебя свои письма.

Логика этого простого диалога лежит в основе «общения» между мотами. Информация, полученная в ходе такого обмена является достаточной для построения оптимальных маршрутов. Рассмотрим, как происходит это общение в БСС.

Базовые станции (БС) – своего рода ориентиры для мотов (как ТВ вышка и почта в предыдущем примере) – в широкополосном режиме поочередно посылают пилот-сигналы для позиционирования относительно друг друга по методу ToF [2], не задействуя при этом моты. Моты находятся в спящем режиме, поэтому их заряд батареи расходуется наиболее экономно.

Далее управляющая БС активизирует моты для оценочного позиционирования по методу RSSI [3]. Поочередно БС рассылают пилот-сигналы, а моты принимают их и оценивают расстояния до каждой БС согласно алгоритму. Массив значений расстояний записывается в специальный регистр.

Далее мотам необходимо начать передачу, для чего требуется получить доступ к среде.

В спецификации IEEE 802 предусмотрен подуровень MAC (Media Access Control – управление доступом к среде) канального уровня, который управляет доступом к среде. В БСС для управления доступом используются наиболее простые распределенные протоколы, которые не требуют высокой вычислительной мощности и высокого энергопотребления для своей работы. В качестве примера можно привести такие протоколы доступа к среде распространения [4]:

- TDMA (Time Division Multiple Access – Множественный доступ с временным разделением); достоинство – наилучшая энергоэффективность; недостаток – необходимость в жесткой синхронизации;

- FDMA (Frequency Division Multiple Access – Множественный доступ с частотным разделением); достоинство – отсутствие конкуренции; недостаток – необходима широкая полоса частот;

- CDMA (Code Division Multiple Access – Множественный доступ с кодовым разделением);

- CSMA (Carrier Sense Multiple Access – Множественный доступ с контролем несущей); достоинства – высокая спектральная эффективность и защищенность каналов; недостаток – необходимость дополнительного оборудования;

- ALOHA; достоинство – отправка по готовности; недостатки – необходима синхронизация в начале работы и низкая эффективность использования канала;

- CSMA/CA (CSMA с Collision Avoidance – с избеганием коллизий); достоинство – высокая эффективность использования канала; недостаток – дополнительные задержки на прослушивание канала;

- MACAW (Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless – Множественный доступ с избеганием коллизий для беспроводных сетей); достоинство – решение проблемы скрытого/обнаруженного терминала; недостаток – низкая энергоэффективность из-за повторных передач;

- и др.

На MAC-уровне (доступа к среде) наиболее эффективно, на данный момент, реализовать алгоритм CSMA/CA для предотвращения коллизий в виду того, что его недостатки являются не существенными для БСС.

Моты посылают jam signal – так называемый сигнал о начале передачи и прослушивают канал. Все моты, которые приняли этот сигнал, откладывают передачу сигнала на случайный интервал времени. Т.к. моты сети не синхронизированы, то передача всеми мотами одновременно невозможна. Следовательно, в сети будет ограниченное число активных мотов. Т.е. этот алгоритм упрощенно можно назвать «кто первый». Этот мот становится главным в динамическом кластере в данный момент времени. При наличии свободного канала мот передает в широковещательном режиме свой адрес и местоположение (уровни от БС). Моты, получившие эту информацию, отправляют подтверждение и свои параметры (адрес и уровни). Если подтверждение не пришло, в стандарте IEEE 802.15.14 [5] предусмотрено повышение мощности передачи до уровня,

когда соседние узлы будут в состоянии принять его сигнал. Если этого не произошло на максимальном уровне передачи – этот мот неработоспособен и переходит в спящий режим. Главные моты получают параметры и определяют уровень сигнала до соседних мотов (расстояние). После чего, активные моты переходят в спящий режим и алгоритм повторяется. Таким образом, проходит процесс обнаружения соседей. Рассмотрим процесс построения маршрута на простом примере (рис. 2) относительно мота №1. Значения выбраны произвольно для пояснения общей логики.

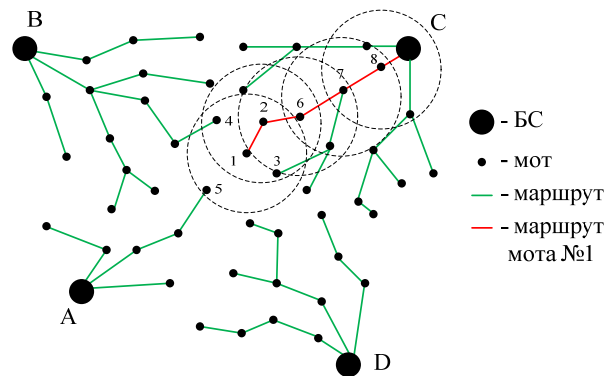


Рис. 2. Алгоритм построения маршрута

1) По уровням сигнала выбирается ближайшая БС (по наибольшему уровню).

Таблица 1. Уровни сигнала БС мота №1

БС	RSSI
A	7,8
B	7,6
C	8,1
D	7,3

По табл. 1 ближайшей БС является С. Все информацию мот будет отправлять в направлении нее.

2) В базе данных параметров соседей выбирается подходящий по 2-м параметрам – ближайший к выбранной БС и находящийся в зоне действия.

Таблица 2. Уровни сигнала от БС соседей и уровни сигнала до них

№ мота	Уровень сигнала от соседа	Уровень БС С соседа
2	1,75	8,105
3	1,6	8,05
4	1,6	8,05
5	1,5	8,02

Исходя из данных табл. 2 ближайшим к БС С и моту №1 является мот №2. Ему передаются свои параметры и параметры соседей.

3) Аналогично мот №2 выбирает следующий узел для ретрансляции и передает свои параметры, от соседей и мота №1.

4) Аналогично строится маршрут и передаются параметры на БС С. Т.е. цепочка маршрута для данного примера выглядит так: 1→2→6→7→8→С. В базу данных С вносятся эти параметры. Моты в свою очередь запоминают маршрут передачи и передают его своим соседям. До следующего процесса инициализации этот маршрут будет постоянным. По технологии IEEE 802 значения силы принимаемого сигнала (RSS) обновляются каждый раз, когда узлы

связываются между собой, поэтому данные каждый раз уточняются, а следовательно и мощность передачи меняется в зависимости от изменения RSS.

Если до БС не дошла информация, то область, в которой активируются моты, увеличивается.

Далее задействуются моты в углах зоны действия БС и происходит аналогичный процесс построения маршрутов. При необходимости область разбивается на большее количество секторов. После сбора и сохранения информации от мотов производится ее обработка.

Т.к. глобальные координаты БС известны, то путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} d_A^2 = (x_A - x_m)^2 + (y_A - y_m)^2; \\ d_B^2 = (x_B - x_m)^2 + (y_B - y_m)^2; \\ d_C^2 = (x_C - x_m)^2 + (y_C - y_m)^2; \\ d_D^2 = (x_D - x_m)^2 + (y_D - y_m)^2, \end{cases}$$

рассчитываются координаты мотов  $(x_m, y_m)$ , где  $(x_i, y_i)$  – координаты  $i$ -ой БС,  $d_i$  –

расстояние до  $i$ -ой БС, которое вычисляется по формуле  $d = \frac{c \cdot 10^{\frac{A}{k}}}{4\pi f}$ . Здесь  $k$  –

коэффициент ослабления среды распространения,  $f$  – частота сигнала,  $c$  – скорость света,  $A$  – величина затухания сигнала.

Полученные координаты не являются достаточно точными в силу недостатков метода. Поэтому стоит задача повысить точность определения оценочных координат без использования дополнительных модулей и без существенного усложнения программного обеспечения и минимальном числе транзакций. [6]

### **Заключение**

Самоорганизующиеся сети – это наиболее привлекательный в наше время вариант сетей не только для БСС, но и для телекоммуникаций в целом. Не сложно представить себе сеть, где отсутствуют механизмы самоконфигурирования. Это обычно небольшая сеть из нескольких узлов (реже, нескольких десятков), где данные о маршрутах, адресах, шлюзах и пр. вводятся вручную. Но представить такую сеть, где количество узлов превышает десятки тысяч, уже вызывает затруднение. Ввести вручную всю необходимую информацию для работы такой сети без ошибок не возможно. Именно поэтому фаза инициализации в самоорганизующихся сетях зачастую определяет эффективность дальнейшей эксплуатации. Это важный этап. Он требует глубокого анализа и разработки оптимального сценария.

**Список литературы:** 1. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука [Текст]/ Г.С. Альтшуллер. – М.: Советское радио. – 1979. 2. Lanzisera S. RF Time of Flight Ranging for Wireless Sensor Network Localization [Электронный ресурс]/ S. Lanzisera, D. T. Lin, K. S. J. Pister// Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES'06). – June 2006. – 12 p. – Режим доступа: [http://www.eecs.berkeley.edu/slanzise/research/rf\\_tof\\_ranging\\_dist.pdf](http://www.eecs.berkeley.edu/slanzise/research/rf_tof_ranging_dist.pdf) 3. Srinivasan K. RSSI is Under Appreciated [Электронный ресурс]/ K. Srinivasan, Ph. Levis// Department of Electrical Engineering and Department of Computer Science, Stanford University, Stanford, CA. – 2005. – 5 С. Режим доступа:

<http://www.eecs.harvard.edu/emnets/papers/levisEmnets06.pdf> 4. *Иваненко В.А.* Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях [Текст]/ В.А. Иваненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 2/10 (50). – с. 9-12. 5. 802.15.4-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks [Электронный ресурс]// IEEE Standards Association. – 2011. – Режим доступа: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4-2011.html>. 6. Спосіб позиціонування вузлів у бездротових сенсорних мережах [Текст]: пат. № 2011 07648 Україна: МПК H04W 64/00/ Зеленин А.Н., Иваненко В.А.; заявитель и патентообладатель ХНУРЕ; заявл. 17.06.2011; опубл. 15.12.2011. – 6 с.

*Поступила в редколлегию 11.05.2012*

**УДК 664:517.4**

**О.І. ТОРЯНИК**, докт.техн.наук, проф., ХДУХТ, Харків,  
**О.Г. ДЬЯКОВ**, канд.техн.наук, доц., ХДУХТ, Харків,  
**Ж.В. ВОРОНЦОВА**, канд.пед.наук, доц., ХДУХТ, Харків

## **ЗАСТОСУВАННЯ MathCAD ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНОЇ НЕЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ**

Проведено дослідження щодо використання програми MathCAD для визначення параметрів складної нелінійної моделі. Розглянуто числовий приклад та здобуті результати обчислення параметрів моделі. Знайдені результати показали доцільність використання MathCAD для дослідження складних нелінійних моделей об'єктів до яких відносяться харчові продукти.

**Ключові слова:** нелінійна модель, ітераційні методи, критерій найменших квадратів.

Проведено исследование по использованию программы MathCAD для определения параметров сложной нелинейной модели. Рассмотрен числовой пример и получены результаты вычисления параметров модели. Полученные результаты показали целесообразность использования MathCAD для исследования сложных нелинейных моделей объектов, к которым относятся пищевые продукты.

**Ключевые слова:** нелинейная модель, итерационные методы, критерий наименьших квадратов.

The researches for application of the software MathCAD for determination of parameters of nonlinear composite model are conducted. A numerical example and the results of calculation of model parameters are got. The got results of the use of MathCAD for research of composite nonlinear models which food products behave to are reasonable.

**Keywords:** nonlinear model, iteration techniques, the criterion of least squares.

### **1. Вступ**

Головним завданням, яке стоїть перед сучасними харчовими виробництвами є створення продуктів із заздалегідь заданими властивостями. Одним із основних напрямків рішення цих завдань є широке використання сучасних методів математичного моделювання. Це дає змогу суттєво скоротити час дослідження та підвищити ефективність роботи науко-дослідницьких шкіл.

### **2. Постановка проблеми**

Підвищення вимог до якості та точності проведення наукових досліджень у харчовій промисловості призводить до необхідності використання для проведення досліджень більш складних математичних моделей типовими